



SUBSOLADO EN SIEMBRA DIRECTA: EFECTOS SOBRE PARAMETROS FÍSICOS DEL SUELO Y RENDIMIENTO DE SOJA

Vallejos, A.^{1*}; Kees, M.²; Bondia, P.¹; Silenzi, J.¹; Echeverría, N.^{1*}; Zajac, C.²; De Lucia, M.¹

¹Depto. Agronomía (UNS); ²Consultor privado

* avallejo@criba.edu.ar; San Andrés 800 (8000) Bahía Blanca (BA); 0291-4595102

INTRODUCCIÓN

La compactación del suelo constituye un fenómeno frecuente en muchas regiones agrícolas del planeta (Hamza & Anderson, 2005). El fenómeno es considerado uno de los mayores problemas que enfrenta la agricultura mundial, debido a los serios impactos económicos y ecológicos que produce (Soane y Van Owerkerk, 1994).

En el Partido de Tres Arroyos la agricultura continua, independientemente del sistema de labranza empleado, ha originado problemas de compactación de los suelos (Manso et al., 2012).

Si bien la siembra directa (SD) tiende a mejorar las propiedades del suelo, existen resultados contradictorios en cuanto a sus efectos en algunos parámetros físicos, algunos autores indicaron un aumento en la compactación del suelo debido a este sistema de labranza (Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003). Este efecto, en muchos casos, se suma a la compactación residual de los sistemas de labranza con aperos convencionales, dado que la mayoría de los suelos no fueron subsolados cuando ingresaron en SD (Vallejos et al., 2010).

Estudios precedentes han demostrado que la compactación afecta a propiedades físicas como estructura, porosidad, velocidad de infiltración, capacidad de retención de agua, densidad aparente y RP (Lampurlanés & Cantero-Martínez, 2003).

La compactación del suelo puede ser reducida mediante rotaciones de cultivos y pasturas perennes, control del tráfico y subsolado. Esta última práctica ha tomado creciente difusión en el mundo en los últimos años (Hamza & Anderson, 2005). En nuestro país la experiencia es más limitada y no siempre fue llevada a cabo con suelos manejados con SD (Alvarez et al., 2009). Existen diversos modelos de subsoladores; el paratill tiene la particularidad de romper una mayor zona del perfil del suelo comparado con los subsoladores rectos y dejar más residuos vegetales en la superficie (Busscher et al., 2006; Unger, 1993). La descompactación mediante paratill genera cambios positivos en las propiedades edáficas (Unger 1993). Sin embargo son contradictorios los resultados que existen en cuanto a su perdurabilidad en el tiempo y su impacto en el rendimiento de los cultivos (Alvarez et al., 2009).

En el área sur pampeana la compactación del suelo asociada a los sistemas de labranza, es uno de los factores limitantes de la producción, y la información existente en cuanto al efecto producido por las labranzas profundas es escasa. En función de ello, se planteó como objetivo evaluar el resultado de la labranza profunda sobre la descompactación mecánica profunda, a corto y mediano plazo, sobre parámetros físicos del suelo y sus efectos sobre el rendimiento de soja.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevo a cabo en el establecimiento Don Pedro ubicado en el Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, partido de Tres Arroyos (38°16'46.30" S; 60° 8'35.35" O), desde noviembre 2010 hasta mayo 2012.

El clima de la zona se clasifica como mesotermal subhúmedo. Presenta un régimen hídrico con disminución de las precipitaciones desde el Este al Oeste. El promedio histórico de lluvias alcanza a los 749,4 mm (INTA, 2012).

El lote utilizado se encontraba en agricultura continua, bajo el sistema de SD por un periodo de 10 años y con una secuencia de cultivos trigo/soja.

El suelo presentó una secuencia de horizontes Ap (0-10 cm; F), Ad (10-20 cm; FaL), Bt (20-42 cm; a), BCk (42-65 cm; FaL) y 2 Ckm (65+ cm; petrocálcico); fue clasificado como Paleudol Petrocálcico (USDA, 1999). La profundidad efectiva promedio de 60-65 cm fue la limitación permanente más importante. Por su parte, el estudio morfológico del perfil indicó signos ciertos de compactación antropogénica,

Tratamientos:

Para dar respuesta a los objetivos planteados se realizaron dos tratamientos: SD con descompactación mecánica (TMD) y SD sin laboreo de descompactación (T). Para la labor profunda se empleó un tractor y un paratill de arrastre Dolbi modelo PD 800 provisto de ocho timones, distanciados a 52, cm., con disco de cortes delanteros y dos rolos posteriores para el sellado del suelo. Se realizó una única labor a inicios de noviembre de 2010, 15 días antes de la siembra de soja, a una profundidad de 28 - 30 cm.

Diseño experimental:

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con 3 réplicas. Los resultados obtenidos fueron analizados mediante análisis de varianza (ANOVA). Para el estudio de las medias de los tratamientos de las diferentes variables se utilizó la prueba LSD de Fisher ($P < 0,05$). Los resultados de los análisis se obtuvieron utilizando el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo et al., 2011).

Muestras y determinaciones:

Establecido el ensayo se evaluó humedad edáfica, densidad aparente, resistencia a la penetración (RP), para los distintos tratamientos en dos fechas, emergencia del cultivo de soja (VE) y madurez fisiológica (R8).

Humedad edáfica: Se determinó por el método gravimétrico. Se extrajeron muestras de suelo a 7 a 12 cm, 12 a 17 cm y de 22 a 27 cm de profundidad.

Densidad aparente: Se determinó por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986). Para ello se sacaron 3 submuestras a las profundidades de 2 a 7 cm, 12 a 17 cm y 22 a 27 cm.

RP: Se determinó con penetrómetro de cono estandarizado, según norma ASAE 313.2 (ASAE Standard, 1993). Para ello se realizaron 5 réplicas por unidad experimental a intervalos de 2,5 cm. desde la superficie hasta la profundidad de 40 cm.

Rendimiento: se delimitaron parcelas de 3 m de largo por 0,42 m de ancho, se cosecharon manualmente y luego se trillaron con una máquina trilladora estática. Las muestras obtenidas fueron secadas a estufa para luego ajustar los rendimientos a un 13% de humedad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Humedad edáfica:

Los valores medios de humedad edáfica (Tabla 1), para las distintas fechas, no variaron considerablemente entre los diferentes tratamientos ensayados, para cada una de las profundidades estudiadas.

Tabla 1. Valores de humedad gravimétrica del suelo para distintas profundidades.

Profundidad (cm.)	2010 (VE*)		2011 (R8**)	
	T	TMD	T	TMD
2 a 7	19,3 b	23,8 a	16,1 a	17,0 a
7 a 12	23,9 a	24,4 a	17,1 a	17,2 a
12 a 17	25,4 a	26,5 a	17,3 b	20,3 a
17 a 22	26,1 a	26,3 a	19,1 a	19,4 a
22 a 27	29,1 a	28,8 a	20,6 a	20,8 a
+ 27	32,1 a	32,7 a	21,0 a	20,8 a

*VE: Emergencia. **R8: Madurez Plena. (Escala fonológica de Fehr y Caviness, 1977). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0,05) por prueba LSD

Densidad aparente:

En la primera fecha de muestreo los resultados indicaron un efecto positivo de la labor, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para la profundidad de 12 a 17 cm. (Tabla 2). Si bien para la profundidad 2 a 7 cm. no se encontraron diferencias estadísticas, si ocurrió cuando se analizó con un nivel de significación mayor ($p \leq 0,10$) evidenciando una tendencia a disminuir la densidad en superficie con la labor. El distanciamiento entre arcos influye sobre el efecto en superficie, debido a que disminuye la interacción entre los mismos en la medida que se incrementa la separación (Godwin, 2007), por ello el efecto en superficie fue menor.

En este ensayo para la profundidad de 12 a 17 cm el TMD fue efectivo, generando una disminución en la densidad aparente de aproximadamente 5,6 % (Tabla 2), si se tiene en cuenta la tendencia encontrada en el horizonte AP a disminuir la densidad aparente se puede afirmar que la labor podría descompactar el suelo desde la superficie. Resultados similares fueron hallados por Bonel et al., (2004) con un tratamiento mecánico semejante en un suelo Arguidol vertico.

A la profundidad de 22 a 27 cm la labranza no provocó disminución en la densidad aparente, esto podría estar asociado al bajo fracturamiento producto de un contenido de humedad elevado al momento de la labor. Cuando el suelo se encuentra con alto contenido de humedad, fluye entre las rejas en forma plástica no provocando el fracturamiento deseado (Balbuena et al., 2009).

En la segunda fecha de medición (R8, año 2011), solo se encontraron diferencias estadísticas a la profundidad de 12 a 17 cm (Tabla 2). La recompactación a la profundidad de 2 a 7 cm no puede adjudicarse a la compresión por cargas naturales, dado que el tránsito durante el periodo del cultivo fue escaso. Por lo tanto se asume que la densificación es consecuencia propia del sistema de SD por el secado lento del suelo debido a la cobertura vegetal.

Las diferencias en la densidad aparente entre tratamientos, en la profundidad de 12 a 17 cm., se incrementaron durante el ciclo del cultivo (mediciones 2010- 2011), esto podría ser producto del aumento de la actividad radicular debido al menor impedimento para su crecimiento (Jorajuria et al., 1997; Taylor and Gardner, 1963).

Tabla 2: Valores de densidad aparente del suelo para los distintos años y tres profundidades.

Profundidad (cm.)	Año 2010		Año 2011	
	T	TMD	T	TMD
0 a 7 cm	1,23 a	1,18 a	1,3 a	1,28 a
12 a 17 cm	1,43 a	1,35 b	1,48 a	1,26 b
22 a 27	1,34 a	1,33 a	1,41 a	1,4 a

Medias de tratamientos seguidas de la misma letra no difieren entre sí. Test LSD (P < 0,05).

RP del suelo: En la figura 1a se presenta el perfil de RP para los tratamientos evaluados durante la primera fecha de muestreo, observándose una reducción de la resistencia del suelo para el TMD, de 0 a 7,5 cm la diferencia está sobredimensionada como consecuencia de la disparidad en el contenido de agua de de TMD respecto de T (Ver tabla 1). Desde 7,5 a 15 cm el contraste se atribuye exclusivamente al trabajo de mejoramiento del suelo, en este nivel los registros de RP no fueron interferidos por los valores de humedad. Resultados análogos han sido encontrados por otros autores cuando trabajaron con equipos similares (Terminiello et al., 2007).

El análisis estadístico de la RP a las diferentes profundidades encontró diferencias significativas desde los 0 a 15 cm. ($p \leq 0,05$) y tendencias en los 17,5 y 20 cm. ($p \leq 0,10$). Estos resultados quedan avalados al compararlos con los valores de densidad aparente.

Se observó que superados los 2,5 cm, el tratamiento testigo registró valores mayores a 1,5 Mpa a diferencia del TMD que no alcanzó a 1 Mpa. Valores mayores a 1,5 Mpa dificultarían el crecimiento y desarrollo de las raíces según lo reportado por Jorajuria et al. (1997) y Taylor & Gardner (1963), no obstante, considerando los rendimientos del cultivo, las plantas no acusaron la restricción impuesta al desarrollo radicular por la impedancia mecánica, dado que es una zona húmeda, probablemente haya llovido lo suficiente como para mantener los valores de RP dentro del rango de no restricción al crecimiento radicular; Taylor & Gardner (1963) demuestran claramente la dependencia de la RP con la humedad del suelo.

En el segundo muestreo también se observa un efecto positivo de la labor, el TMD perduró durante todo el ciclo del cultivo (Figura 1b), coincidiendo con los resultados de Terminiello (2007). Analizando las profundidades, se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos hasta los 20 cm. ($p \leq 0,05$). Si bien los valores de RP superaron los 1,5 Mpa para ambos tratamientos, esto fue producto del bajo contenido hídrico que presentaba el suelo al momento del muestreo. La comparación entre tratamientos de 7 a 12 cm es muy confiable ya que los contenidos de humedad son muy próximos. Por debajo se interpreta la existencia de una diferencia significativa a favor de TMD pero, posiblemente, algo exaltada por la mayor humedad. Para el horizonte Bt no se encontraron diferencias significativas

Según Álvarez et al. (2009), en condiciones similares de suelo y manejo, encontraron diferencias entre el subsolado y el testigo en los primeros 5 cm de profundidad, luego de dos años de la labor

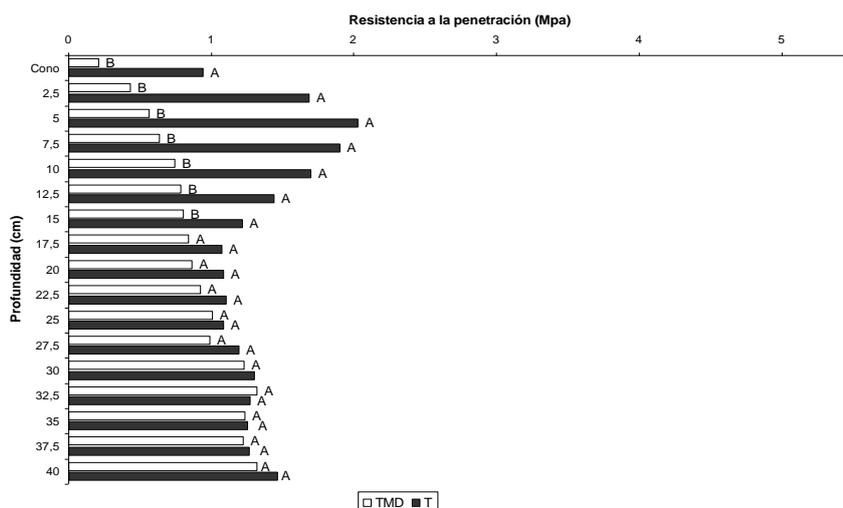


Figura 1 a. Resistencia a la penetración del suelo primer muestreo (2010). Medias de tratamientos seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P < 0.05$) Test LSD.

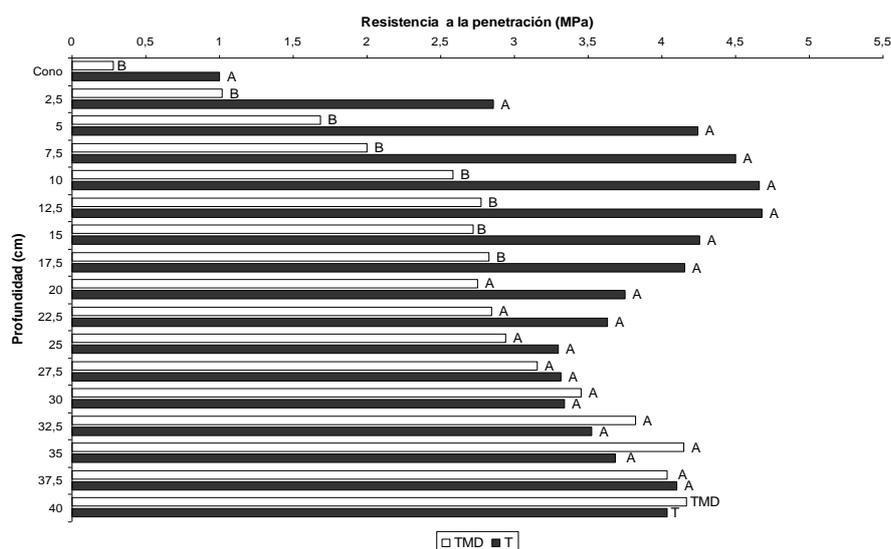


Figura 1 b. Resistencia a la penetración del suelo segundo muestreo (R8, 2011). Medias de tratamientos seguidas de la misma letra no difieren entre sí ($P < 0.05$) Test LSD.

Rendimiento del cultivo:

El rendimiento en soja, no demostró diferencias estadísticas entre los tratamientos, superándolo solo en 50 kg/ha al testigo (Tabla 4).

Tabla 4. Rendimiento del cultivo de soja para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Rendimiento (kg/ha)
TMD	2638 a
T	2588 a

Medias de tratamientos seguidas de la misma letra no difieren entre si ($p > 0,05$) LSD.

CONCLUSIÓN:

El TMD tuvo una influencia marcada sobre los parámetros físicos evaluados. Los efectos de la labranza profunda con paratill perduraron durante el ciclo del cultivo de soja.

La resistencia a la penetración, expresó una disminución en TMD hasta el final del ciclo del cultivo. El cultivo de soja no incrementó el rendimiento de granos como respuesta a las mejoras físicas del suelo.

AGRADECIMIENTOS:

Los autores agradecen al Ing. Agr. Miguel Muda por la financiación de los trabajos de campo.

BIBLIOGRAFÍA:

- Álvarez, CR; M Torres Dugan; ER Chamorro; D' Ambrosio & MA Tabeada. 2009. Descompactación de suelos franco limosos en siembra directa: Efectos sobre las propiedades edáficas y los cultivos. *Ciencia del suelo* 27 (2): 159-169.
- ASAE Standards. 1993. Soil Cone Penetrometer S 313.2. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, Michigan, USA.
- American Society for Testin Materials (ASTM). 1982. Standard test methods for moisture relations using a 5,5 lb hammer and 12 inch drop. ASTM (Ed.), ASTM Standars in Building Codes, Philadelphia, 2: 836-842.
- Balbuena, R.H; GF Botta & E.R.D. Rivero. 2009. Herramientas de labranza para la descompactación del suelo agrícola. 1era ed. Buenos Aires. Orientación gráfica editora. 216 p.
- Blake GR, KH Hartge, A & Klute. 1986. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods, 1.
- Bonel BA; J Denoia, M Costanzo; G Giubileo & G. Zerpa. 2004. Efecto de la Labor de Escarificado Sobre un Argiudol Vertico Bajo Siembra Directa Continua. *Cien. Inv. Agr.* 31(3): 187-196.
- Busscher, W; J Bauer & PJ Frederick Jr. 2006. Deep tillage for high strength southeastem USA Coastal Plain soils. *Soil and Tillage Research* 85: 78-185.

- Di Rienzo JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2011. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar> 03/10/2011.
- Godwin, R.J. 2007. A review of the effect of implement geometry on soil failure & implements forces. *Soil and Tillage Research* 97:331-340.
- Gupta, SC & RR Almaras. 1987. Models to assess the susceptibility of soils to excessive compaction. *Adv. Soil Science* 6: 65-100.
- Hamza, MA & WK Anderson. 2005. Soil compaction in cropping systems a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 82: 121-145.
- INTA. 2012. Las condiciones meteorológicas desde 2012. Chacra Experimental Integrada Barrow. <http://inta.gob.ar/unidades/724000/agrometeorologia-barrow/view>
- Jorajuría D; L Draghi & A Aragon. 1997. The effect of vehicle weight on the distribution of compaction with depth and the yield of *Lolium / trifolium* grassland. *S. & tillage Research* 41:1-12.
- Lampurlanés, J. & C Cantero-Martínez. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop managements systems and their relationship with barley root growth. *Agron. J.* 95: 526-536.
- Manso, L; H Forjan; G Studdert, & S San Martino. 2012. Efecto de sistemas de labranza contrastantes sobre algunas propiedades de un Molisol de Tres Arroyos bajo distintos usos previos. *Rev. FCA UNCUIYO.* 44 (1) 85-99.
- Soane, B & C Van Owerkerk. 1994. Soil compaction problems in soil agriculture. In: Soane, B & Van Owerkerk, C (Editors). *Soil Compaction in Crop Production*. Elsevier, Amsterdam, pp. 1-22.
- Taylor, HM; & HR Gardner. 1963, Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96(3):153-156.
- Terminiello, A; R Balbuena; M Ariata; Jhilbert; J Claverie & D Jorajuría. 2007. Descompactación del suelo y tráfico de siembra. Efectos sobre el rendimiento de soja (*glycine max* L merr). In congreso argentino de ingeniería rural. 9. Congreso del mercosur. 1. 2007 09 19-22, 19 al 22 de septiembre de 2007. Córdoba. Ar.
- Unger, PW 1993. Paratill effects on loosening of Torric Paleustoll. *S. and Tillage Research* 26:1-9.
- USDA. United States Department of Agriculture. 1999. *Soil Taxonomy, Second Edition. A basic system of soil classification for making and interpretation soil surveys.* NRCS. Agricultura.
- Vallejos, A; C Zajac; J Silenzi & N Echeverria. 2010. Descompactación de un suelo y demanda energética de un arado paratill a tres profundidades y dos anchos de labor. *Agro-Ciencia* 26(2): 99-108